

PENGARUH EXTERNALITAS PADA *NET ENERGY RATIO* PRODUKSI BIODIESEL MIKROALGA

Externalities Effect on Net Energy Ratio of Microalgae Biodiesel Production

Arif Dwi Santoso, Kardono dan Joko P. Susanto

Pusat Teknologi Lingkungan

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

GEOSTECH 820 Building, Puspiptek Serpong Banten 15314, Indonesia

E-mail: arif.dwi@bppt.go.id

Diterima: 06 Maret 2013; Dikoreksi: 12 Maret 2013; Disetujui: 08 April 2013

Abstract

In the future, Indonesia is predicted to be hit by national energy crisis so that it needs to do some efforts to overcome its dependences on these fossil energy sources. One of the efforts to lower high dependency on fossil energy sources is to find renewable energy sources. Microalgae has a great potential as a renewable energy source because it has the advantages of high productivity and sustainability. Development of microalgal biomasses as a renewable energy source is however, constrained by high cost of biomass production and low value of NER (net energy ratio) comparing to these of other biomasses, like palm oil, jatropha and tubers. Literature study shows that the method of NER calculation on biodiesel production does not yet include environmental variables. This research is therefore to evaluate the values of NER before and after the addition of environmental commodity variables that consist of social, environmental and land use cost. Results of NER values calculated using existing LCA and modification LCA method are found to be $0,62 \pm 0,078$ and $0,60 \pm 0,075$ for algal biodiesel and $4,17 \pm 0,79$ and $3,22 \pm 0,61$ for palm biodiesel. The lower value of NER value differences for algal biomass indicates that biodiesel production from algal biomass is more environmentally-friendly. In addition, it is predicted that microalgae will have a significant contribution in the green house gases (GHGs) mitigation by replacing fossil fuel in the future through its role as a biodiesel.

Keywords: net energy ratio, life cycle analysis, environmental commodity, microalgae, biodiesel

Abstrak

Di masa depan, Indonesia diperkirakan akan dilanda krisis energi nasional sehingga perlu melakukan upaya untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil tersebut. Salah satu upaya untuk menurunkan ketergantungan pada energi fosil adalah untuk menemukan sumber energi terbarukan. Mikroalga memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan karena memiliki keuntungan dari produktivitas tinggi. Pengembangan biomassa mikroalga sebagai sumber energi terbarukan terkendala oleh tingginya biaya produksi dan nilai rendah APM (rasio energi bersih) dibandingkan dengan biomassa lainnya, seperti kelapa sawit ataupun umbi-umbian. Studi literatur menunjukkan bahwa metode perhitungan APM pada produksi biodiesel belum menyertakan variabel lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini adalah untuk mengevaluasi nilai-nilai APM sebelum dan sesudah penambahan variabel komoditas lingkungan yang terdiri dari biaya sosial, lingkungan dan penggunaan lahan. Hasil nilai NER dihitung dengan menggunakan LCA yang ada dan metode LCA modifikasi yang ditemukan $0,62 \pm 0,078$ dan $0,60 \pm 0,075$ untuk biodiesel alga dan $4,17 \pm 0,79$ dan $3,22 \pm 0,61$ untuk biodiesel sawit. Nilai yang lebih rendah dari perbedaan nilai APM untuk biomassa alga menunjukkan bahwa produksi biodiesel dari biomassa alga lebih ramah lingkungan. Selain itu, diperkirakan bahwa mikroalga akan memiliki kontribusi yang signifikan dalam mitigasi gas rumah kaca (GRK) dengan mengganti bahan bakar fosil.

Kata kunci: rasio energi, analisa siklus hidup, komoditas lingkungan, mikroalga, biodiesel

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil terutama bahan bakar minyak (BBM). Pada tahun 2012, kebutuhan BBM yang mayoritas digunakan di sektor rumah tangga, transportasi dan industri mencapai 57,87 juta liter dan diperkirakan mengalami kenaikan sekitar 2,8% per tahun [1]. Pemerintah Indonesia telah berusaha mengurangi laju konsumsi BBM dan mengembangkan sumber energi alternatif dengan melakukan program konversi BBM ke bahan bakar gas (*LPG-liquor petrol gas*), dan program diversifikasi energi non BBM dengan menetapkan Peraturan Presiden No.5/ 2006 tentang kebijakan energi nasional. Peppres tersebut menargetkan penggunaan energi terbarukan yang berupa bahan bakar berbahan nabati (BBN) seperti *bioetanol*, *biodiesel* sebanyak 5% pada tahun 2025.

Namun upaya pemerintah tersebut masih belum berhasil. Kendala utama dalam hal pengembangan BBN *biodiesel* dan *bioetanol* adalah adanya kompetisi bahan baku BBN dengan penyediaan bahan pangan. Harga bahan baku BBN seperti CPO, jagung dan umbi-umbian masih lebih kompetitif bila dijual sebagai bahan pangan dibanding sebagai bahan pembuat BBN. Kendala lainnya adalah adanya pemikiran di kalangan peneliti dan pemerhati lingkungan bahwa produksi BBN secara signifikan berkontribusi dalam memicu meningkatnya emisi gas rumah kaca akibat dari perubahan penggunaan lahan, mengancam pasokan pangan, dan meningkatkan kerusakan hutan dan keanekaragaman hayati [2].

Melihat semakin kecilnya peluang tanaman darat untuk menjadi sumber bahan baku BBN, maka dikembangkanlah biomassa mikroalga untuk menjadi salah satu kandidat bahan BBN alternatif. Keunggulan dari biomassa ini adalah sifatnya yang dapat diperbarui dan mempunyai kemampuan terhadap pengurangan emisi gas CO₂ [3]. Namun demikian, Penetapan mikroalga menjadi bahan baku BBN terkendala dengan biaya produksi biomassa mikroalga masih tinggi dan nilai NER (*net energy ratio*) relatif rendah apabila dibandingkan biomassa yang lain.

Net Energi Ratio (NER) adalah salah satu teknik evaluasi sistem energi dengan membandingkan keseluruhan energi yang dihasilkan dengan energi yang diperlukan dalam suatu proses produksi [4]. Nilai NER menunjukkan status *energy economics* suatu proses produksi, yaitu semakin tinggi nilai NER maka semakin efisien proses produksi tersebut dalam hal menggunakan energi. Teknik perhitungan NER dalam suatu produksi ini banyak dipakai untuk menyeleksi atau mempertimbangkan apakah suatu proses produksi tersebut menguntungkan. Pola perhitungan NER pada produksi *biofuel* dari semua biomassa baik mikroalga maupun dari tanaman darat adalah identik. Hal ini terbukti pada mikroalga yang telah dilakukan [2,3,5,6] dan dari

biomassa tanaman darat seperti minyak sawit (*palm oil*) oleh [7], tanaman jarak (*Jatropha oil*) oleh Nazir [7], Prueksakorn [8], dan minyak bunga matahari, canola dan *soybean* dilakukan oleh Requena *et al* [9].

Pandangan analisis dari sisi lingkungan menyatakan bahwa proses produksi *biofuel* dari biomassa mikroalga dan dari biomassa tanaman darat adalah berbeda. Tahapan proses produksi *biofuel* dari biomassa mikroalga lebih bersifat non eksploitatif karena terbatas dalam memanfaatkan sumberdaya alam, sementara pada biomassa tanaman darat yang cenderung bersifat eksploitatif. Berdasarkan kondisi tersebut, maka pola NER antara proses produksi *biofuel* dari biomassa mikroalga dan tanaman darat harus berbeda. Pada modifikasi perhitungan yang baru tersebut harus mengakomodasi variabel-variabel yang membedakan secara jelas antara proses produksi yang bersifat non eksploitatif dan eksploitatif.

Dalam makalah ini, penulis mengevaluasi dan membandingkan nilai NER dari produksi *biodiesel* mikroalga dengan menggunakan 2 metode perhitungan yang kemudian membandingkannya dengan NER *biodiesel* dari kelapa sawit. Metode pertama adalah metode yang jamak digunakan (*existing*), sedangkan metode pembandingnya adalah metode modifikasi NER dengan menambahkan variabel lingkungan yang terdiri atas nilai sosial, nilai lahan, dan nilai lingkungan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kegiatan proses produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga yang dikumpulkan dari literatur jurnal dan laporan yang terpercaya dan *up to date*. Sampel penelitian adalah kegiatan proses produksi *biodiesel* yang dipilih sesuai dengan kriteria penelitian dari seluruh data yang dikumpulkan. Kriteria yang ditetapkan untuk menyeleksi sampel adalah memiliki skala produksi komersial yaitu sekitar 10 ton/ha/tahun [5], memiliki persamaan pada wadah budidaya dan proses ekstraksi lemak secara esterifikasi.

2.2. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan dan perhitungan data dalam rangka untuk menjawab tujuan secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tahap penentuan unit fungsional perhitungan.

Unit fungsional yang ditetapkan adalah 1 liter *biodiesel*. Unit ini akan menjadi acuan dari seluruh input data yang digunakan. Proses penentuan unit fungsional dari data skala komersial menjadi unit fungsional disajikan dalam Tabel 1. Dalam Tabel 1, huruf (a) data produktivitas biomassa alga 7 g/l [2,3,5,10], (b) rasio biomassa alga: CAO=0,3 [2,3,10,11]; TBS:CPO = 0,28 [12] dan (c) rasio CAO:*biodiesel*=0,9 [2,3,10,11]; CPO: *biodiesel* = 0,88 [7,13].

Tabel 1. Proses penentuan unit fungsional

Uraian		Biomassa mikroalga
Produktivitas (ton/ha/th)	biomassa	10.000 ^a
Produktivitas (ton/ha/th)	CAO/CPO	3.000 ^b
Produktivitas (ton/ha/th)	<i>biodiesel</i>	2.700 ^c
Penggunaan lahan per produksi 1l <i>biodiesel</i> (m ²)		0,0037 ^d

Tahap penentuan NER. Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *net energy ratio* (NER) dari produksi *biodiesel* dari kedua macam biomassa dengan formula:

$$NER = \frac{\sum E_o - \sum E_i}{\sum E_i} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$\sum E_o$ = Jumlah energi yang dihasilkan (MJ)
 $\sum E_i$ = Jumlah energi yang diperlukan (MJ)

Pada metode modifikasi NER, variabel energi output dikurangi dengan variabel energi dari eksternalitas (E_e). Nilai variabel energi eksternalitas diperoleh dari nilai eksternalitas yang telah disetarakan dalam MJ, sehingga formula NER menjadi:

$$NER = \frac{\sum E_o - \sum E_e}{\sum E_i} \quad NER = \frac{\sum E_o - \sum E_e}{\sum E_i} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

$\sum E_e$ = Jumlah energi eksternalitas (MJ)

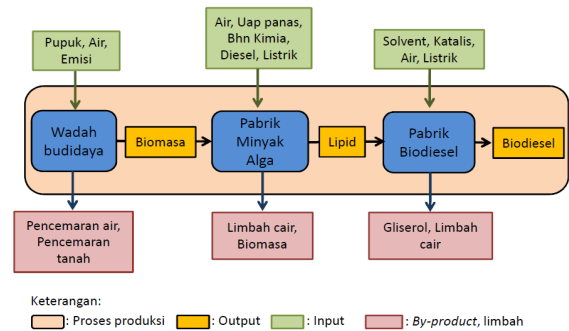
Tahap perhitungan efektivitas metode. Setelah konstruksi metode modifikasi NER tersusun, kemudian metode ini dipakai untuk menghitung kesetimbangan energi dengan variabel yang sudah tersedia. Hasil perhitungan rata-rata dari dua sampel data yang berbeda kemudian dibandingkan dan dihitung efektivitasnya, dengan menggunakan *z-test* pada *two dependent sampel* NER dengan tingkat kepercayaan (1- α), $\alpha=0,025$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variabel NER pada Produksi *Biodiesel* dari Mikroalga

Secara umum, variabel-variabel yang digunakan dalam perhitungan NER produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga dapat dikelompokkan menjadi 3 tahap sesuai dengan pentahapan pada proses produk utama yakni tahap produksi biomassa, tahap produksi minyak alga dan tahap produksi *biodiesel* (Gambar 1).

Dari gambaran skema inventarisasi *input*, *output* pada proses produksi *biodiesel* di atas memperlihatkan bahwa variabel yang diperlukan dalam perhitungan LCA meliputi semua *input* berupa bahan material dan energi, serta semua *output* berupa produk, dan hasil samping serta limbah yang dihasilkan.



Gambar 1. Inventarisasi *input*, *output* dan produk pada proses produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga

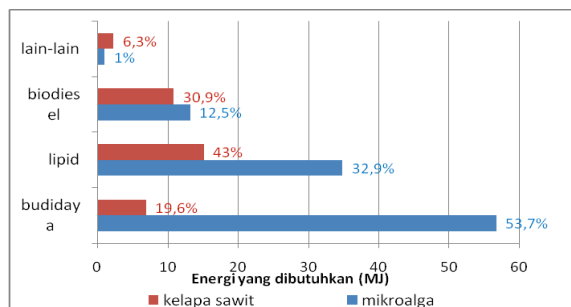
Dari gambaran skema inventarisasi *input*, *output* pada proses produksi *biodiesel* di atas memperlihatkan bahwa variabel yang diperlukan dalam perhitungan LCA meliputi semua *input* berupa bahan material dan energi, serta semua *output* berupa produk, dan hasil samping serta limbah yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil penelitian beberapa peneliti [3-5, 17] serta dengan membandingkannya terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dalam skala laboratorium, untuk memproduksi 4,44 kg biomassa mikroalga, *input* material yang diperlukan antara lain air sebagai media tumbuh sebanyak 0,5 m³, pupuk berupa KNO₃ sebanyak 0,34 kg dan P₂O₅ sebanyak 0,18 kg dan listrik sebesar 55,6 MJ. *Input* energi listrik pada proses ini dipakai untuk keperluan mengerakkan *pedal wheel* agar mikroalga tidak mengendap dan kondisi media tumbuh selalu homogen. Sebagian besar kebutuhan listrik dalam proses ini juga digunakan untuk keperluan proses pemanenan. Pada akhir proses, dihasilkan limbah berupa air sekitar 0,35 m³. Dalam produksi 1,2 kg lipid ini diperlukan energi listrik sekitar 99,7 MJ yang kebanyakan digunakan dalam proses sonikasi. Proses sonikasi adalah proses penghancuran kulit mikroalga yang banyak menyerap energi ini yang membebani biaya produksi *biodiesel* dari mikroalga dibanding dengan produksi *biodiesel* dari biomassa lain.

Variabel *input* dan *output* dari proses produksi 1 kg *biodiesel* dari biomassa mikroalga adalah bahan baku minyak alga sebanyak 1,2 kg, listrik 0,11 MJ, uap panas 2,06 MJ dan bahan kimia yang terdiri dari metanol, NaOH dan HCl. Penggunaan methanol pada proses produksi *biodiesel* relatif besar yakni sebesar 0,21 kg dikarenakan tingginya residu yang harus dipisahkan dari lipid. Perbedaan lain adalah tingginya produk hasil samping berupa gliserol dari biomassa mikroalga dibanding biomassa kelapa sawit.

Dengan perhitungan yang sama, total energi yang diperlukan untuk memproduksi 1 kg *biodiesel* dari biomassa kelapa sawit dapat dihitung berdasarkan hasil peneliti sebelumnya

[3,13,14,15,16]. Perbandingan perhitungan NER *biodiesel* dari mikroalgadan biomassa kelapa sawit ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan komposisi energi pada produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga dan kelapa sawit.

Pada tahap budidaya, energi untuk produksi *biodiesel* dari biomassa kelapa sawit banyak digunakan pada proses persiapan lahan yaitu sekitar 19,6%. Sementara pada mikroalga, energi banyak terserap pada proses pemanenan yakni mencapai 50 MJ per produksi 1 (satu) kg *biodiesel*.

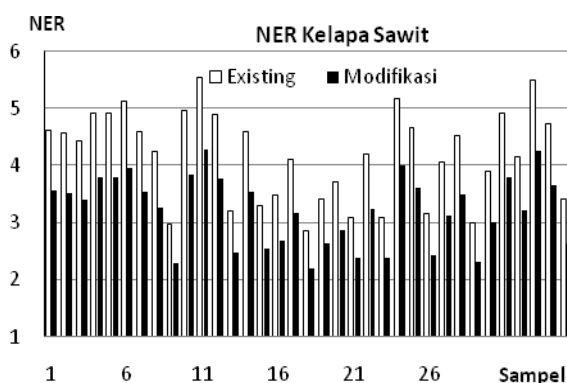
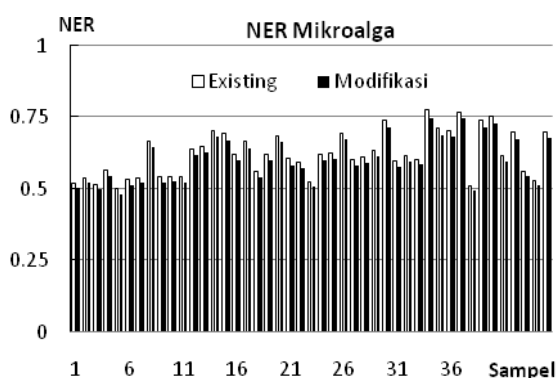
Energi yang besar juga diperlukan untuk proses pemecahan dinding sel sekitar 35 MJ pada proses produksi lipid. Proses panen membutuhkan energi yang paling besar yaitu sekitar 50 MJ/liter yang dipakai untuk kegiatan penyaringan dengan filter.

3.2. Perbandingan NERexisting dan NER modifikasi

Untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara perbandingan energi yang dihasilkan dengan energi yang diserap selama proses produksi pada perhitungan *existing* dan modifikasi, maka dilakukan perhitungan NER pada dua biomassa yakni biomassa mikroalga dan biomassa kelapa sawit.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan formula (1) dan (2), maka nilai NER *existing* dan NER modifikasi pada produksi *biodiesel* mikroalga adalah $0,62 \pm 0,078$ dan $0,60 \pm 0,075$, dengan penurunan nilai NER sebesar $0,021 \pm 0,002$ atau sebesar 3,3%.

Dengan perhitungan yang sama, nilai NER *existing* dan NER modifikasi pada produksi *biodiesel* kelapa sawit adalah $4,17 \pm 0,79$ dan $3,22 \pm 0,61$,



Gambar 3. Hasil perhitungan NER dengan metode *existing* LCA dan metode modifikasi LCA pada produksi *biodiesel* mikroalga dan kelapa sawit

Dengan perhitungan yang sama, nilai NER *existing* dan NER modifikasi pada produksi *biodiesel* kelapa sawit adalah $4,17 \pm 0,79$ dan $3,22 \pm 0,61$, dengan penurunan nilai NER sebesar $0,952 \pm 0,181$ atau sebesar 22,8%. Tingginya penurunan nilai NER produksi *biodiesel* pada kelapa sawit dikarenakan besarnya nilai penggunaan lahan dan biaya konflik sosial. Rendahnya nilai selisih NER pada biomassa mikroalga menunjukkan bahwa proses produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga cenderung lebih ramah lingkungan.

Hasil perhitungan *t-test* untuk nilai NER menunjukkan bahwa nilai NER mikroalga dan nilai NER kelapa sawit pada metode LCA *existing* berbeda nyata (signifikan) dengan metode LCA modifikasi. Berdasarkan perhitungan *t-test* untuk selisih nilai NER dengan metode LCA *existing* dan

LCA modifikasi pada mikroalga lebih kecil daripada kelapa sawit. Hasil ini membuktikan bahwa proses produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga lebih ramah lingkungan. Penambahan variabel lingkungan tidak menyebabkan perubahan NER yang besar dibandingkan dengan biomassa kelapa sawit.

KESIMPULAN

Nilai NER hasil perhitungan metode *existing* lebih besar dibandingkan hasil perhitungan metode modifikasi. Nilai selisih NER metode *existing* dan modifikasi pada mikroalga lebih kecil daripada kelapa sawit. Hal ini menunjukkan bahwa proses produksi *biodiesel* dari biomassa mikroalga cenderung lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Energi Sumberdaya Mineral. (2012). 2012 Handbook of Energy and economic Statistic of Indonesia.Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources Ministry of Energy and Mineral Resources, p121
2. Khoo, H.H., Lim, T.Z., & Tan, R.B.H. (2010). Food waste conversion options in Singapore: environmental impacts based on an LCA perspective. *Sci Total Environ.*, 408, 1367–1373.
3. Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E.A., Embirucu, M., Ghirardi, M.L. (2010). Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomassa production in open ponds and photobioreactors. *Bioresour Technol*, 101, 1406–1413.
4. Cleveland, C. J. (2005). Net energy from oil and gas extraction in the United States, 1954-1997. *Energy*, 30, 769-782.
5. Stephenson, A.L., Kazamia, E., Dennis, J.S., Howe, C.J., Scot, A.A., Smith, A.G. (2010). Life Cycle Assessment of Potential Algal Biodiesel Production in the United Kingdom: A Comparison of Raceways and Air-Lift Tubular Bioreactors. *Energy Fuels.*, 24, 4062–4077.
6. Murthy, G.S. (2010). Life cycle analysis of algae biodiesel. *Int J Life Cycle Assess.* 15, 704-714.
7. Nazir, N., & Setyaningsih, D. (2010). Life Cycle Assessment of Biodiesel Production from Palm Oil and Jatropha Oil in Indonesia. 7th Biomasa Asia Workshop, November 29 –December 01, 2010, Jakarta, Indonesia.
8. Prueksakorn, K., Gheewala, S.H., Malakul, P., & Bonnet, S. (2010). Energy analysis of Jatropha plantation systems for biodiesel production in Thailand. *Energy Sustain Dev.*, 14, 1-5.
9. Requena, S., Guimaraes, A.C., Alpera, S.Q., Gangas, E.R., Navarro, S.H., Gracia, L.N., Martin-Gil, J., Cuesta, H.F. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. *Fuel Process Technol*, 92, 190 – 199.
10. Chisti Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv.*, 25, 294–306.
11. Lardon, L., Helias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., Bernard, O. (2009). Life cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental science and technology*, 43, 6475-6481.
12. Nguyen, T.L.T., Gheewala, S.H., Bonnet, S. (2008). Life cycle cost analysis of fuel ethanol produced from cassava in Thailand. *Int. J. Life Cycle Assess*, 13, 564-573.
13. Pleanjai, S.H. & Gheewala, S.H. (2009). Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. *Appl Energy*, 86, 209–214.
14. Lardon, L., Helias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., Bernard, O. (2009). Life cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental science and technology*, 43, 6475-6481.
15. Mata, T., Martins, A. & Caetano, N.S. (2009). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 14, 217–232.
16. Razon, L.F., & Tan, R.R. (2011). Net energy analysis of the production of biodiesel and biogas from the microalgae: *Haematococcus pluvialis* and *Nannochloropsis*. *Appl Energy*, 88, 3507–3514